

В. М. КОШЕЛЬНИК, Т. И. ЗАХАРЧЕНКО

ЭФФЕКТИВНЫЙ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ РЕАКТИВНОСТИ ТУРБИННОЙ СТУПЕНИ

Two-parameters known approximation of the steam turbine characteristic is grounded for definition of the stage degree reaction. Corresponded calculations are presented.

Рассмотренный в [1, 2] полуэмпирический метод определения степени реактивности турбинной ступени основан на сравнении уравнений расхода через сопловую и рабочую решетку. Предложенное в работах [1, 2] аппроксимирующее уравнение имеет вид

$$\rho = a + b \cdot \bar{F} \cdot \bar{V}, \quad (1)$$

где $\bar{F} = \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{с}}}$, $F_{\text{л}}$, $F_{\text{с}}$ – горловые сечения рабочей и сопловой решеток,

$$\bar{V} = \frac{v_{1t}}{v_{2t}}, \quad v_{1t}, \quad v_{2t} \text{ – удельные объемы за сопловой и рабочей решетками,}$$

определенные на изоэнтропе процесса расширения пара в ступени.

Эмпирические коэффициенты a и b определены по данным проекторочных расчетов турбин К-800-240, Р-12-3,4/0,3, Р-40-130/13 в функциях трех

аргументов $\bar{F}, \bar{V}, \varepsilon$, где $\varepsilon = \frac{p_2}{p_0}$, p_2 – давление за ступенью, p_0 – давление

перед ступенью. Средняя погрешность аппроксимации $\sim 3,0\%$.

Параметры \bar{F} и ε используются для построения новой аппроксимации.

$$\frac{v_{1t}}{v_{2t}} = 0,425 \cdot 44,56(x - 0,38)^{1,5532x + 11,2285} e^{-3,1832x}, \quad (2)$$

где $x = \bar{F} \cdot \varepsilon$ предназначена для поверочных расчетов проточных частей турбин по параметрам за последней ступенью [3, 4]. Это уравнение в известной мере имеет самостоятельное значение. Формула (2) справедлива в интер-

вале $0,39 \leq \bar{F}\varepsilon \leq 1,5$, при $\bar{F}\varepsilon = 1,5 \div 1,7$ значение $\frac{v_{1t}}{v_{2t}} = 0,985 = \text{const}$.

Содержанием работ [1, 2] является определение эмпирических коэффициентов a и b в линейной аппроксимации (1). По существу сходное содержание имеет и рассматриваемое расчетное исследование, в котором в качестве аппроксимирующего принято двухпараметрическое уравнение [5].

$$\rho = \frac{A - \bar{F}}{A - (1 - \varepsilon)\bar{F}}. \quad (3)$$

Используемая в [5] расчетная зависимость, по-видимому, имеет целью дать только приближенную оценку степени реактивности, так как согласно приведенному уравнению лишь в трех точках из 18, принятых для расчета, получено согласование рассчитанных и эталонных значений ρ_3 ; остальные 15 точек расположены ниже линии $\rho_3 = \rho_{\text{расч}}$. В работе не указаны также для какой турбины и какие ступени были приняты для исследования. Не определена и погрешность аппроксимации.

В приведенных ниже сравнительных расчетах с определением эмпирических коэффициентов параметра A и расчетных значений степени реактивности использованы проектные данные 21 ступени турбины К-800-240 (среднее значение $A=1,924$) [6], 11 ступеней турбины Р-12-3,4/0,3 (среднее значение $A=1,910$) [7], 7 ступеней турбины Р-40-130/13 (среднее значение $A=1,942$) [8]. Всего для 39 ступеней среднее значение $A \approx 1,92$. Из осреднения были исключены 3 ступени турбины К-300-240 (последняя строка таблицы 1).

Для этих ступеней $F \approx 1,5$ а степень реактивности составляет 50-60%. Для них можно принять $A \approx 2,0$.

В таблицах 1 ÷ 3 приведены значения параметров $\bar{F}, \varepsilon, \rho_3$, по которым найдены значения A и $\rho_{\text{расч}}$. Сравнение рассчитанных и эталонных (ρ_3) значений степеней реактивности показывает, что в среднем расхождение этих величин $\sim 2,0\%$. Таким образом, двухпараметрическая аппроксимация по типу уравнения (3) оказывается в известной мере более эффективной (сравнительно с аппроксимацией (1)) как по точности, так и по простоте вычислений и может быть рекомендована наряду с более полной по определяемым параметрам зависимостью [1, 2], для инженерных расчетов проточных частей паровых турбин.

Таблица 1 – Исходные и расчетные данные турбины К-800-240

№ ступени	2	3	4	5	6	7	8
$F = \frac{F_L}{F_c}$	1,588	1,559	1,548	1,531	1,500	1,408	1,365
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,870	0,880	0,871	0,879	0,877	0,869	0,862
A	1,922	1,924	1,928	1,944	1,944	1,932	1,919
ρ_3	0,195	0,210	0,220	0,235	0,250	0,30	0,32
$\rho_{\text{расч}}$	0,193	0,208	0,216	0,224	0,242	0,295	0,32
погрешн., %	-0,6	-0,8	-1,7	-4,7	-3,3	-1,6	0,0

Продолжение табл. 1

№ ступени	9	10	11	12	13	14	15
$F = \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{с}}}$	1,355	1,323	1,283	1,604	1,576	1,570	1,547
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,869	0,870	0,854	0,774	0,818	0,780	0,794
A	1,989	1,943	1,926	1,880	1,898	1,835	1,892
ρ_3	0,33	0,35	0,37	0,19	0,20	0,21	0,22
$\rho_{\text{расч}}$	0,324	0,341	0,369	0,20	0,21	0,22	0,23
погрешн., %	-1,7	-2,6	-0,6	+6,7	+5,3	+4,8	+4,5
№ ступени	16	17	18	19	20	21	22
$F = \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{с}}}$	1,514	1,474	1,404	1,330	1,303	1,520	1,432
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,787	0,750	0,747	0,714	0,687	0,563	0,526
A	1,832	1,862	1,897	1,858	1,900	1,941	1,934
ρ_3	0,24	0,26	0,32	0,36	0,40	0,33	0,40
$\rho_{\text{расч}}$	0,254	0,277	0,33	0,38	0,408	0,32	0,393
погрешн., %	+5,8	+6,7	+3,1	+5,4	+2,0	-3,1	-1,7
№ ступени	23	24	25				
$F = \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{с}}}$	1,466	1,350	1,530				
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,469	0,429	0,233				
A	2,028	2,058	2,183				
ρ_3	0,46	0,55	0,69				
$\rho_{\text{расч}}$	0,437	0,529	0,57				
погрешн., %	-5,2*	-4,0*	-5,3*				

Таблица 2 – Исходные и расчетные данные турбины P-12-3,4/0,0,3

№ ступени	2	3	4	5	6	7
$F = \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{с}}}$	1,687	1,689	1,668	1,674	1,650	1,620
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,870	0,865	0,859	0,847	0,847	0,845
A	1,948	1,824	1,916	1,898	1,898	1,899
ρ_3	0,142	0,139	0,148	0,139	0,162	0,174
$\rho_{\text{расч}}$	0,137	0,136	0,148	0,147	0,162	0,179
погрешн., %	-3,6	-1,8	+0,0	+6,7	+0,0	2,8

Продолжение табл. 1

№ ступени	8	9	10	11	12
$F = \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{с}}}$	1,602	1,628	1,609	1,576	1,580
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,838	0,829	0,815	0,812	0,802
A	1,909	1,914	1,905	1,906	1,900
$\rho_{\text{э}}$	0,186	0,175	0,184	0,205	0,204
$\rho_{\text{расч}}$	0,191	0,177	0,191	0,212	0,211
погрешн., %	+2,9	+16	+3,8	+3,3	+3,4

Таблица 3 – Исходные и расчетные данные турбины Р-40-130/31

№ ступени	2	3	4	5	6	7	8
$F = \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{с}}}$	1,690	1,671	1,660	1,650	1,638	1,499	1,264
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,810	0,892	0,890	0,887	0,885	0,894	0,911
A	2,00	1,905	1,938	0,936	1,933	1,938	1,943
$\rho_{\text{э}}$	0,142	0,148	0,155	0,163	0,169	0,247	0,371
$\rho_{\text{расч}}$	0,143	0,143	0,150	0,156	0,163	0,239	0,362
погрешн., %	+1,2	-3,4	-3,3	4,4	-3,8	-3,3	-2,2

Список литературы: 1. Капинос В.М., Гаркуша А.В. Переменный режим работы паровых турбин. – Харьков.: Вища школа, 1989. – 174 с. 2. Капинос В.М., Навроцкий В.В., Смородская И.В., Марченко И.Д. Полуэмпирическое уравнение для определения степени реактивности турбинной ступени. Вестник НТУ «ХПИ», №31, 2004, - с. 94-99. 3. Капинос В.М., Навроцкий В.В., Смородская И.В. Наблизженный поступеневый розрахунок проточной части по кінцевим параметрам. Вестник НТУ «ХПИ», №19, 2002, - с.100-106. 4. Капинос В.М., Пустовалов В.Н., Навроцкий В.В., Науменко С.П. Улучшенный алгоритм поступенчатого расчета проточной части турбины по параметрам за последней ступенью. Вестник НТУ «ХПИ», №11, 2004, с.105-108. 5. Трояновский Б.М., Самойлович Г.С. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах – М.: Энергия, 1976. – 365 с. 6. Щегляев А.В. Паровые турбины – М.: Энергия, 1976. – 365 с. 7. Левченко Е.В., Аркадьев Б.А., Кантенир А.Д., Рохленко В.Ю. Турбины малой мощности с противодавлением НПО «Турбоатом». Теплоэнергетика, №1, 1997. 8. Трояновский Б.М., Самойлович Г.С. Паровые и газовые турбины – М.: Энергоиздат, 1987, - 235 с.

Поступило в редколлегию 11.12.08